

Appui à la Cellule d'Aménagement SBL-TRB

Stratifications de la concession forestière sous aménagement durable

Synthèse des travaux 2001-2002

Michelle PAIN-ORCET, Programme Forêts naturelles (CIRAD-Forêt)*
Christian FEAU, Laboratoire GEOTROP (CIRAD-Amis)**

* Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier (michelle.pain-orcet@cirad.fr)

** Maison de la Télédétection, 500 rue Jean-François Breton 34398 Montpellier (christian.feau@cirad.fr)

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	1
2.	DONNÉES UTILISÉES	1
2.1.	IMAGES SATELLITES	1
2.2.	PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES	1
3.	RÉALISATION D'UNE COMPOSITION COLORÉE RENSEIGNÉE	2
4.	TRAVAIL DE TERRAIN (JUN 2001)	3
5.	ANALYSE DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES	3
6.	STRATIFICATION VISUELLE DE LA COMPOSITION COLORÉE (MIR, PIR, R)	6
6.1.	TYPES D'OCCUPATION DU SOL	6
6.2.	TYPES DE PAYSAGES	7
6.2.1.	<i>Données utilisées :</i>	7
6.2.2.	<i>Méthode :</i>	7
6.2.3.	<i>Résultats :</i>	8
6.2.4.	<i>Unités physiographiques et paysages forestiers</i>	9
6.3.	MISSION DE TERRAIN (FÉVRIER 2002)	10
7.	TRAITEMENTS NUMÉRIQUES DES DONNÉES LANDSAT	10
8.	CONCLUSIONS ET POURSUITE DES TRAVAUX	12

FIGURES

1. Introduction

La première visualisation de la zone d'aménagement à partir de la mosaïque d'images Landsat 7 ETM a été fournie au projet début 2001. Ce document a servi de support à la mission de terrain de septembre 2001 pour la validation des unités de paysage et pour la description des types de végétation forestière. Les premières observations ont montré la difficulté d'interpréter certaines réponses spectrales à partir de cette première composition colorée Landsat. Il a été alors envisagé de poursuivre cette étude en utilisant toutes les données disponibles et en approfondissant chacune des deux approches : types de paysages et types de peuplements.

Cette note de synthèse décrit l'ensemble des travaux réalisés actuellement.

2. Données utilisées

2.1. Images satellites

Deux scènes **Landsat 7 ETM** du 8 mars 2000 ont été acquises pour couvrir toute la zone d'aménagement du projet SBL. Les images (path/row :184-60 et 184-61) ont été commandées au format fast-L7a, qui inclut les calibrations radiométriques.

Le système Landsat 7 ETM fournit des informations dans 9 bandes spectrales :

- 6 bandes multispectrales (B,V,R, PIR et 2 MIR) de résolution spatiale 30 m
- 2 bandes thermiques de résolution 60 m.
- 1 bande panchromatique de résolution de 15 m.

L'ADIE à Libreville s'est chargée des corrections géométriques de ces données, sur la base d'un modèle utilisant une image Radarsat. Les images nous ont ensuite été transmises au format Erdas-Imagine (*.img) en projection GTM (Gabon Transverse Mercator), d'origine 12 ° E, ellipsoïde WGS 84.

Les deux scènes ont été mosaïquées avant d'en extraire la partie couvrant la concession SBL.

La mosaïque d'images **Radarsat** a été réalisée à partir de données acquises en 1999 dans le cadre du Projet Forêt Environnement. La mosaïque est géoréférencée et fournie dans le système de projection GTM. Les pixels sont de 25 m.

2.2. Photographies aériennes

Les clichés aériens existants sur cette zone sont ceux de la mission IGN exécutée entre 1962 et 1965, qui avaient été utilisés pour réaliser les cartes de végétation du projet d'inventaire de la zone d'attraction du chemin de fer transgabonais en 1973.

40 photos (émulsion IR) ont été commandées à l'IGN France avec autorisation de l'INC-Gabon. Elles couvrent une partie du bloc nord de la concession (figure 1).

- AE 1962-63, SA 33-I, n° 225 à 248.
- AE 1962- 63, SA 33-VII, n° 269 à 271 et 236 à 234.
- AE 1964-65, SA 33 I, 622 à 626 et n° 585 à 589.

3. Réalisation d'une composition colorée renseignée

Parmi les 9 bandes spectrales de l'image Landsat, 3 ont été choisies et combinées pour produire une composition colorée.

Selon les thèmes étudiés, certaines bandes spectrales s'avèrent plus ou moins adaptées. Pour étudier les types de couverts végétaux, les bandes du rouge, du PIR et du MIR, fournissent de bonnes visualisations. Dans la bande du rouge, il y a une forte absorption de la chlorophylle, et une augmentation de la réflectance pour les sols, surtout secs. Ces propriétés sont intéressantes pour distinguer les zones forestières plus ou moins ouvertes et les interférences sol/végétation. Dans la bande du PIR la végétation active possède une réponse élevée variant en fonction des types de couverts. La bande du MIR offre un contraste important entre la végétation et le sol. Elle est sensible aux variations d'humidité du sol sous le couvert végétal. Enfin l'atmosphère présente, pour cette bande, une bonne transparence, ce qui se répercute sur la qualité des observations.

Pour obtenir une visualisation, avec la forêt dans les teintes vertes, la composition combine les 3 bandes MIR, PIR et R avec un affichage Rouge, Vert, Bleu.

Une sortie papier a été réalisée en février 2001, au 1/100 000 et transmise au projet.

Le principe retenu pour ce document est celui d'une composition colorée renseignée, avec une légende reprenant des extraits d'images.

7 classes sont distinguées sur cette composition colorée :

Forêt sur relief en demi-orange
Forêt sur relief accidenté
Forêt ripicole
Forêt exploitée
Complexe culture/jachère/recrû
Savane incluse
Zones habitées
Pistes anciennes
Pistes récentes

Le document donne une première vue de l'ensemble de la concession, en montrant bien l'emprise des zones cultivées et les parties de forêt traversées par des pistes d'exploitation. Les unités de relief ressortent clairement et plusieurs nuances de vert expriment vraisemblablement des différences dans les types de couvert forestier.

4. Travail de terrain¹ (juin 2001)

Cette mission avait comme objectifs :

- de relever des informations de terrain dans les principaux types forestiers visibles sur la composition colorée,
- d'aborder le travail sous l'angle des unités de paysage liées à la géomorphologie et d'étudier leurs relations avec la végétation,
- d'interpréter les réponses des pistes sur les images Landsat,
- de mettre au point la légende de la stratification.

En complément de la composition colorée, d'autres documents ont été analysés sur le terrain, comme l'image du canal MIR en niveaux de gris, une composition colorée combinant les trois canaux différemment (RVB/ PIR, MIR, R), une classification numérique non supervisée en 24 classes et l'image Radarsat.

Les tournées sur le terrain ont révélé que :

- les zones forestières sur relief en demi-orange (granite) sont composées à la fois de forêt mature et de forêt secondarisée,
- sur les reliefs accidentés, constitués de grès fins et de pélites, se trouve en général une forêt secondaire âgée, témoignant peut-être d'une forte occupation ancienne de ces zones.

La comparaison des observations de terrain avec la classification non supervisée montre que les signatures spectrales des objets dépendent fortement de l'éclairement (58 ° à l'heure de l'acquisition) et que les effets du relief influencent une partie de l'information forestière. Suivant sa position topographique un même type de peuplement possède une réponse spectrale différente. Par conséquent une phase de regroupement de classe est indispensable.

Un logiciel d'analyse contextuelle (CLAPAS) a été testé à cet effet : il permet de généraliser des paysages définis par l'organisation spatiale des classes. La longueur des temps de calcul et une limitation dans la taille de l'image gérable par le logiciel n'a pas permis de traiter l'ensemble de la zone.

Nous avons du revenir à une méthode plus traditionnelle d'analyse des paysages, par l'interprétation visuelle assistée par ordinateur.

5. Analyse des photographies aériennes

Les photographies sont anciennes (1962-1965) et les limites de certaines classes d'occupation du sol ont bien entendu changé mais dans l'ensemble elles permettent d'avoir une bonne vision des différences entre les principaux types de couvert forestier de la concession.

Deux méthodes ont été utilisées pour les intégrer dans cette étude.

¹ Voir rapport de la mission stratification . C. Féau. Géotrop. Cirad-Amis, septembre 2001

La première a consisté à délimiter des parcelles sur une des compositions colorées et à les reporter sur la classification numérique (ou l'inverse) et à caractériser le type de végétation sur les photographies. Les observations ont été notées sur des fiches reprenant le tableau suivant :

Numéro photographie				
N° de parcelle	Aspect composition colorée	Aspect classification	Texture : structure	Observations

C'est un travail fastidieux qui n'a pas donné de résultats satisfaisants. La contrainte éclaircissement /relief entraîne une grande variété de situations et il est difficile de trouver des relations fortes et répétitives.

La deuxième méthode a consisté à interpréter intégralement plusieurs clichés répartis sur toute la zone, pour servir de référence à l'analyse de la composition colorée. Les classes identifiées au niveau forestier reprennent les différenciations classiques entre les faciès primaires ou secondaires adultes et les faciès secondaires jeunes.

Dans le premier type, la strate supérieure est composée de cimes bien développées et donne à la canopée un aspect régulier même si les strates inférieures sont parfois visibles. Dans le cas d'un peuplement secondaire plus jeune, les cimes sont plus petites, plus nombreuses et le toit est soit très lisse, très compact, soit très ouvert et hétérogène avec de nombreuses trouées.

Les cartes de végétation réalisées en 1973 ², à partir des stéréominutes au 1/50 000 de l'IGN et des mêmes photographies, montrent la prépondérance de la forêt dense sur sol ferme. D'autres formations, de superficies réduites, et caractérisées par un faciès particulier : petite taille des cimes, couvert plus ou moins discontinu, hauteur du peuplement, sont généralement associées soit à des routes, soit au réseau hydrographique soit à des éléments de relief.

² Inventaire de la zone d'attraction du chemin de fer transgabonais

Ces cartes de végétation individualisent 14 classes sur toute la zone du projet :

Forêt dense d'aspect normal

Peuplement pur ou à peu près pur

Forêt d'aspect rabougri sur pitons ou dalles rocheuses

Forêt à couvert dense de petites cimes

Forêt formée d'arbres de toutes dimensions à couvert discontinu

Forêt en voie de reconstitution après passage des cultures (recrûs âgés)

Marécages sans arbres (raphias, fougères et cypéracées)

Forêt méréceuse

Plaine basse couverte de forêt dense d'aspect normal.

Plaine basse occupée par une forêt à couvert discontinu

Zone basse alluviale

Bas-fonds marécageux étroits en bordure des rivières

Savanes

Cultures actuelles ou récemment abandonnées. Zones défrichées

6. Stratification visuelle de la composition colorée (MIR, PIR, R)

6.1. Types d'occupation du sol

Le découpage de l'image s'est largement appuyé sur les photographies anciennes et les cartes de 1973.

Dans l'ensemble, la composition colorée fait ressortir un nombre limité de plages de couleurs différentes et de grandes zones apparaissent distinctement.

Les correspondances entre les unités visibles sur l'image et les formations ou les objets au sol sont données dans le tableau suivant :

Composition colorée	Thèmes	Observations
blanc	sol nu, bâti, villages, pistes	
jaune, jaune-vert	zones cultivées	principalement autour des villages et le long des axes routiers.
vert clair avec par endroit des nuances plus jaunes	jachères, recrû, formations secondaires jeunes, forêt dégradée, ouverte	formations liées principalement aux précédentes
vert clair, avec des taches plus foncées et brunes. Texture d'aspect assez lisse	Formations secondaires jeunes, petites cimes,	associées à des pistes d'exploitation et à une localisation sur des crêtes
vert moyen, foncé à brun	forêt dense, mature, forêt ripicole	
rose, rouge	savanes, pistes d'exploitation, routes, pistes d'atterrissage, ...	
bleu	réseau hydrographique	

A partir de ces correspondances 7 classes ont été délimitées :

*zones cultivées, jachères, recrûs,
formations secondaires jeunes, recrûs et formations sur relief,
en mélange formations secondaires jeunes et formations secondaires adultes,
formations secondaires adultes,
en mélange formations secondaires adultes et forêt mature en général sur relief en demi-orange,
forêt mature sur relief en demi-orange,
formations marécageuses ou inondables*

Les classes 1, 2 et 7 se distinguent sans difficulté. Elles pourraient être facilement extraites par traitement numérique. La délimitation des autres classes fait intervenir à la fois des notions de couleur, de texture, de localisation et réclamerait des traitements associant les analyses visuelles et numériques appuyées par une vérité terrain importante.

Si on compare la légende de la stratification à celle des cartes de végétation de 1973, on note que les classes qui se rapportent aux zones cultivées (cultures, jachères, recrûs, ..) sont identiques.

La classe 2 est décrite soit comme forêt formée d'arbres de toutes dimensions à couvert discontinu avec le sol souvent visible par petites trouées (très anciennes cultures), soit comme forêt à couvert dense et petites cimes (recrû après cultures). Ce type de forêt possède donc bien l'empreinte d'une anthropisation plus ou moins ancienne, avec en plus, bien visible sur l'image satellite, le tracé de pistes d'exploitation anciennes et couvertes de végétation.

Les autres classes (3, 4, 5 et 6) sont regroupées sur les cartes sous le terme « forêt dense ».

6.2. Types de paysages

6.2.1. Données utilisées :

Imagerie Landsat ETM :

- Composition colorée à partir des canaux 4, 5, 3 en R, V, B.
- Le canal 5 (MIR) qui fait apparaître le modelé de détail, sans voile nuageux

Imagerie Radar :

Les grandes unités physiographiques y apparaissent nettement. L'effet de l'occupation humaine (habitat et cultures) y est atténué, ce qui permet en particulier de suivre dans ces zones la continuité du réseau de bas-fonds.

Données exogènes :

La légende de la carte des unités physiographiques a été renseignée à l'aide de la carte géologique ainsi que du modèle numérique de terrain (MNT) issu de la numérisation des courbes de niveau des fonds topographiques au 1/200 000.

6.2.2. Méthode :

La numérisation des contours des unités physiographiques (après une première ébauche sur sortie d'imprimante) a été réalisée à l'écran sous ArcView.

Le MNT a été calculé grâce à Spatial Analyst d'ArcView.

La démarche a consisté à définir des unités de paysage en allant du général au particulier :

- a) Identification de deux grands domaines géologiques :
 - Francevillien du précambrien moyen, constitué de grès et de pélites.
 - Socle granitique (Système de l'Ogooué) constitué de granites et de pegmatites
- b) Identification des unités de paysage propres à chaque domaine :

- Caractérisation de subdivisions au sein de ces unités, par une description de leur modelé de détail (en particulier pour le domaine granitique plus complexe que le Francevillien)

6.2.3. Résultats :

La carte des unités physiographiques présentée dans ce document à l'échelle approximative du 1/750 000 (figure 2) sera ultérieurement éditée à une échelle plus grande.

Les contours des unités sont présentés seuls (figure 2), ainsi que sur les fonds ayant servi à leur tracé : composition colorée (figure 3), canal 5 de Landsat (figure 4) radarsat (figure 5) MNT (figures 6, 7 et 8).

L'étude de la zone montre, dans l'organisation du paysage, l'influence de deux facteurs principaux : la lithologie et l'altitude.

La lithologie

Sur les grès et pélites, on trouve en sommet d'interfluves des plateaux largement convexes (unité 1), se rattachant aux axes de drainage de l'Ogooué et de la Lolo par de longs versants rectilignes incisés en arêtes de poisson perpendiculairement à ces axes (unité 2) . Il n'y a pas de réseau de bas-fonds larges. Cette formation occupe la plus grande partie de la moitié nord du périmètre (lots 21, 25, lot 19 nord). Elle subsiste cependant sous forme de buttes-témoins au sein du système granitique (unité 3).

Au pied des versants, on peut trouver (comme à l'extrême nord-est de la zone) des glacis plus ou moins étendus, rectilignes, à faible pente, sans réseau de drainage discernable sur les images (ni incisions à versants rectilignes, ni bas-fonds)

Le socle granitique présente une plus grande diversité de paysages. Il occupe la partie centrale (lots 19 sud, PTE 15/94, 29/94, 16/94, 14/94) et la moitié sud du périmètre (lot 13/85) . Toutefois, il peut affleurer sous forme de boutonnières dans le francevillien de la partie nord.

Il se distingue d'abord par la présence d'un réseau de bas-fonds à fond plat, ramifiés, séparant des massifs de collines de hauteur, de forme et de dimensions variables. La variabilité de ces formes est liée à l'altitude.

L'altitude

Les plateaux du Francevillien ont une altitude élevée (plus de 800 m sur la butte-témoin du Mont Mimongo), s'abaissant progressivement à 300 m en allant vers le nord-ouest.

L'importance de l'altitude dans la classification des paysages est essentielle dans la partie granitique. On y distinguera :

La partie centrale du périmètre, où les altitudes sont inférieures à 450 m. L'organisation du paysage y est la suivante :

Les plaines longeant la Lolo pénètrent le socle en un réseau de larges bas-fonds en bois de renne (ramifiés et souvent élargis à leur terminaison amont). Les ramifications de ce réseau de bas-fonds séparent des massifs de collines basses en demi oranges, de hauteur, de forme et de dimensions homogènes (PTE 16/94 par exemple). La partie amont de ces bas-fonds constitue une limite importante car au-delà de ce niveau, le relief des demi oranges s'atténue ; ces dernières s'élargissent et s'abaissent pour se

fondre en un glacis où le réseau de drainage n'est plus décelable. Le glacis raccorde le paysage de collines sur socle aux versants sur grès et pélites.

La partie sud du périmètre se situe à une altitude supérieure allant de 450 m à plus de 700 m). Nous avons à faire à une surface d'aplanissement différente de la précédente. Les bas-fonds y sont plus étroits et ne communiquent avec la Lolo (qui n'est pas bordée de larges plaines à ce niveau) que par une incision étroite à peine perceptible. Ces bas-fonds sont donc perchés sur cette surface.

La lithologie y est beaucoup plus hétérogène que dans la partie basse. La carte géologique y situe des pegmatites, sans délimitation précise.

Les dimensions, hauteur pente, forme et orientation des collines sont très variables. C'est en fonction de ces différents facteurs qu'ont été identifiées les unités de paysage de cette zone (unités 9, 10, 11 et 13). C'est dans cette région que l'interprétation de la classification de l'image Landsat est la plus difficile, en raison de l'influence très variable de l'ombrage des versants (intensité et direction) sur les radiométries

Cette zone se prolonge au sud-ouest par un plateau ondulé (unité 12) pouvant correspondre à une troisième surface. Cette unité n'occupe qu'une faible partie du périmètre.

6.2.4. Unités physiographiques et paysages forestiers

Le but initial de la mission de terrain « stratification » de juin 2001 n'était pas de réaliser une carte morphopédologique du périmètre SBL. Le temps était d'ailleurs trop court pour cela. C'est pourquoi nous parlons d'unités physiographiques plutôt que d'unités morphopédologiques. Trop d'informations manquent sur la profondeur, la texture, le drainage interne des sols et des altérites. Nous formulerons seulement des hypothèses sur les relations entre physiographie et paysages forestiers.

Les compositions colorées RVB 4-5-3 font apparaître trois teintes dominantes :

- le jaune, que l'on rencontre sur les reliefs, qu'il s'agisse des plateaux et versants sur francevillien ou des reliefs sur granite (unités 11, 12, 13).
- le vert foncé, que l'on ne trouve de façon significativement étendue que sur les paysages typiques de demi oranges de la partie centrale (unité 7).
- le vert clair (mêlé de jaune) que l'on trouve sur les glacis.

On peut formuler l'hypothèse d'une « maturation » de la forêt sur les demi oranges granitiques, qui peut être liée à la profondeur des altérites et à leur bon drainage, et de « secondarisation » d'origine pédoclimatique pour les autres unités :

- a) possibilité d'une faible profondeur de l'altération et d'un drainage interne médiocre sur les plateaux du francevillien,
- b) faible profondeur des sols et pente sur les versants pélitiques et les reliefs des massifs granitiques, favorisant les chablis,
- c) prédominance du mauvais drainage dans le cas des glacis de raccordement, qui peuvent par ailleurs avoir fait l'objet d'une mise en culture ancienne, du fait pour certains de leur accessibilité.

Ces hypothèses devront être mises en relation avec une analyse spatiale des données de l'inventaire forestier.

6.3. Mission de terrain (février 2002)

Les stratifications précédentes ont été examinées sur le terrain lors de la mission de C. Fargeot. Les recrûs agricoles, les bas-fonds et marécages et les petites savanes sont bien confirmées. Les autres classes distinguées sur images satellites et photographies sont parfois difficiles à confirmer au sol.

La forêt présente des différences selon la nature du sous-sol. Dans le nord, sur les grès, le sous-bois se trouve dominé par les Macarangas. Dans la partie sud, sur les granites, alors que la pluviosité est plus forte la forêt contient de nombreuses essences de type semi-décidue et les parasoliers disparaissent des bords de route.

Les données de l'inventaire devraient permettre d'observer ou non une relation entre strates de l'image satellite et variables inventoriées.

7. Traitements numériques des données Landsat

Les limites de la zone traitée sont simplifiées par rapport à celles de la concession .

Plusieurs procédures d'amélioration d'images ont été testées pour évaluer leurs apports pour la stratification de la zone d'aménagement.

Ces essais ont été réalisés avec les trois bandes spectrales les plus riches en information pour l'étude du couvert forestier :

Bande 3	Rouge	0,63 – 0,69 micromètres
Bande 4	Proche Infrarouge	0,75 – 0,90 micromètres
Bande 5	Moyen Infrarouge	1,55 – 1,75 micromètres

Le comportement spectral « théorique » des objets dans chacune des trois bandes est illustré sur la figure 9. La meilleure différenciation entre les thèmes s'obtient dans la bande du MIR : le sol nu, les pistes récentes, les cultures-jachères, les recrûs, les pistes anciennes et l'eau se séparent bien. En revanche tous les thèmes purement forestiers ont des réponses radiométriques peu éloignées dans le PIR et le MIR, avec des valeurs supérieures dans le PIR.

Pour augmenter les contrastes dans les réponses spectrales plusieurs indices de végétation ont été testés. Ces indices s'appuient sur les différences des propriétés optiques de la végétation dans différentes bandes et correspondent à des combinaisons de valeurs spectrales. Chaque type d'indice possède ses spécificités surtout par rapport aux perturbations atmosphériques et aux réflectances des sols.

Les indices ont été calculés sur la zone et les meilleurs résultats sont obtenus avec les bandes PIR et MIR.

L'indice « PIR-MIR » a été utilisé par S. Balley³ sur une autre zone forestière gabonaise, notamment pour distinguer les forêts jeunes des forêts matures. Un faible indice indique une végétation âgée et un indice élevé une végétation jeune. Ces résultats se confirment sur la concession SBL. Par ailleurs, des différences apparaissent nettement au nord de Koulamoutou pour les zones forestières situées à l'est et à l'ouest de la Lolo, comme si la partie ouest possédait dans l'ensemble une forêt plus mature. Les pistes récentes et les sols nus ont de très faibles indices et se distinguent bien.

L'indice de végétation NDVI a été calculé avec les MIR (NDWI). L'image résultante possède une définition plus fine. Le réseau hydrographique ressort très bien. L'hétérogénéité des secteurs cultivés est mieux mise en évidence.

Par rapport aux compositions colorées classiques qui ont été fournies au projet, l'apport des indices de végétation semblent visuellement intéressants. Diverses combinaisons ont été testées et les résultats confirment l'intérêt de les utiliser.

Pour compléter ces essais, et extraire le maximum d'informations dans les bandes spectrales utilisées, les trois premières composantes principales ont été calculées et visualisées.

Les illustrations de la figure 10 donnent un aperçu des différents résultats.

Il ressort de ces travaux que l'utilisation des traitements numériques pour améliorer les visualisations et faciliter la stratification de la zone est indéniable. Il y a bonne complémentarité des résultats et une meilleure lisibilité pour individualiser visuellement le maximum de thèmes.

Le passage à une extraction automatique de ces thèmes par classification numérique nécessite encore des essais avec un appui de données terrain plus nombreuses.

En revanche, les types d'occupation du sol, exclus de l'inventaire comme par exemple les savanes, les zones cultivées, les parties marécageuses ou inondables, peuvent être cartographiées automatiquement. Ceci est confirmé dans l'article de M. Nziengui⁴, sur l'apport de l'imagerie spatiale dans la conduite des opérations d'inventaire aménagement en forêt tropicale gabonaise. Il souligne bien la différence entre cartographie d'occupation du sol et stratification forestière. Cette dernière consistant en une opération de segmentation a priori de la zone d'intérêt, pour aider le forestier à mettre en place un dispositif d'échantillonnage adapté aux variables à mesurer.

Pour ce type de forêt, les méthodes automatiques sont actuellement bien adaptées à une cartographie « simplifiée » de l'occupation du sol. Elles permettent une mise à jour des cartes topographiques. Pour une stratification précise de la forêt, les résultats

³ Sandrine Balley, 2000. Utilisation d'images satellite pour l'élaboration des plans d'aménagement forestier. Etude sur la concession de la CEB et proposition d'une méthodologie. ADIE, Spot Image, IGN, CEB. 29 p et annexes.

⁴ M. Nziengui, et al, 2002. Imagerie spatiale et aménagement forestier au Gabon. *Bulletin Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, n°167. pp.16-29

sont très variables mais souvent décevants. La résolution spatiale du capteur (30 m) constitue sans doute une des limites à la caractérisation plus fine de cette forêt. Il est certain que pour travailler localement (grande échelle), des pixels de l'ordre du mètre offrent une meilleure visualisation radiométrique de la canopée.

8. Conclusions et poursuite des travaux

Actuellement l'exploitation des données Landsat 7 a permis de fournir au projet :

- une composition colorée renseignée au 1/100 000
- une stratification visuelle de la concession en unités physiographiques (géologie, types de paysages et de modelés)
- une stratification par interprétation visuelle des radiométries fournies par la composition colorée.

Les deux stratifications sont disponibles sous format numérique.

En complément, plusieurs traitements numériques ont été appliqués sur les données Landsat pour améliorer l'aspect visuel des images et utiliser au maximum les propriétés des bandes spectrales proche infrarouge et moyen infrarouge.

Toutes ces opérations, réalisées en 2001 et 2002, représentent globalement 3 mois de travail (mission terrain comprise).

Il est nécessaire maintenant d'étudier plus précisément la relation entre ces différentes stratifications et les données de l'inventaire (espèces, volumes, surfaces terrières, ...). Les premières analyses statistiques, réalisées à partir de quelques transects terrain, sont à étendre à toute la zone. Cette comparaison doit pouvoir déboucher sur le degré de correspondance entre les informations extraites des images spatiales et les variables mesurées sur le terrain. Il est vraisemblable que pour certaines unités (physiographiques ou radiométriques) il y aura une bonne corrélation. L'intérêt sera alors de mettre l'accent sur les informations qui ont un sens (géomorphologie, altitude, radiométrie, ...) et d'en proposer une méthode d'extraction rapide.

Par ailleurs, pour la rédaction du plan d'aménagement, les données sur le relief, les pistes d'exploitation existantes, les axes routiers, le réseau hydrographique, les zones inondables, les parties cultivées sont extrêmement utiles et peuvent être facilement extraites des images satellites (Landsat, Radarsat).

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Régions couvertes par les photographies acquises

Figure 2 : Unités physiographiques et légende

Figure 3 : Composition colorée Landsat ETM et unités physiographiques

Figure 4 : Bande du MIR et unités physiographiques

Figure 5 : Image Radarsat et unités physiographiques

Figure 6 : Altitudes et unités physiographiques

Figure 7 : Altitudes et unités physiographiques (effet relief)

Figure 8 : Pentes et unités physiographiques

Figure 9 : Signatures spectrales théoriques de quelques thèmes

Figure 10 : Visualisations après traitements numériques divers

Figure 1

Régions couvertes par les photographies aériennes acquises

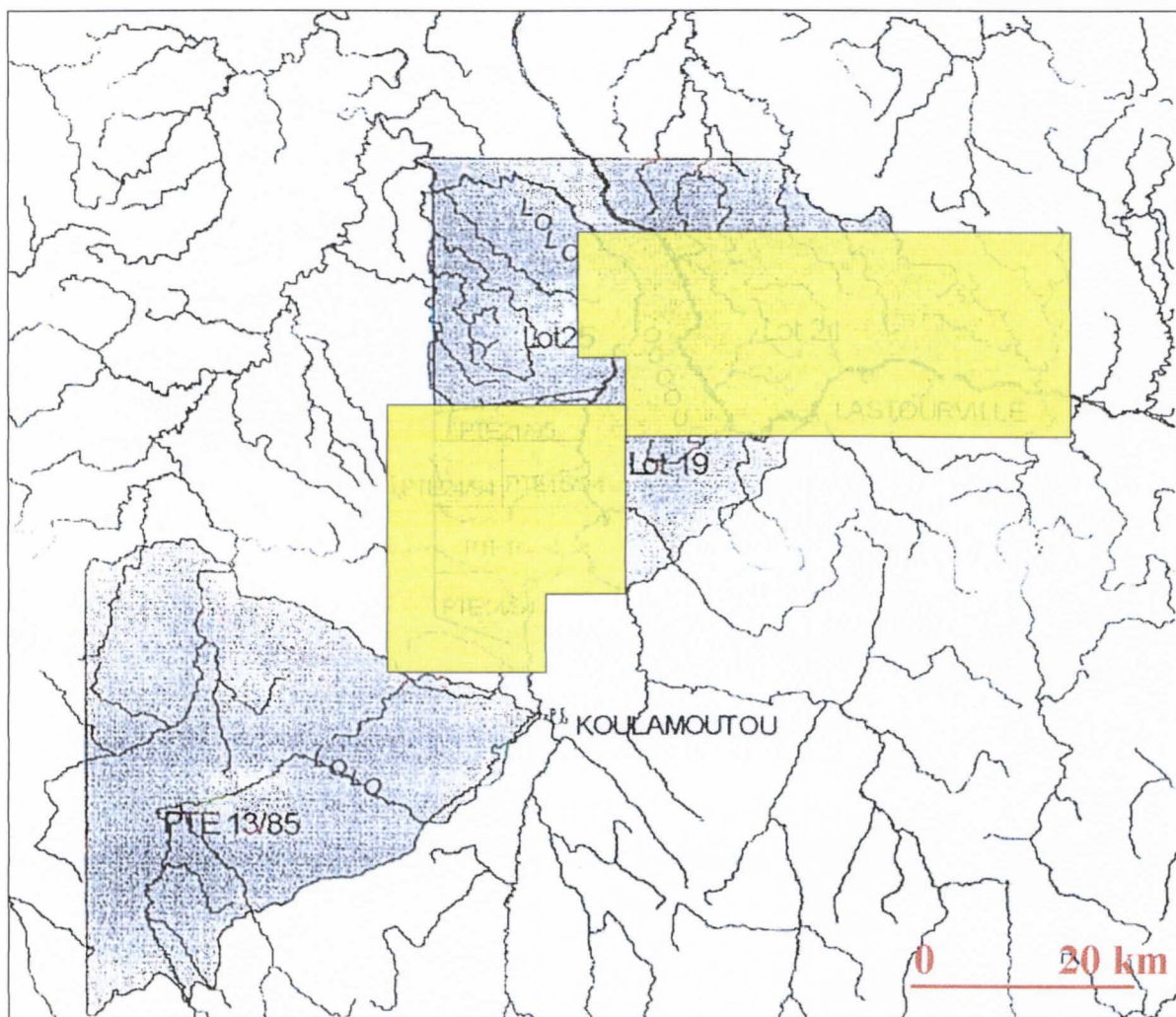
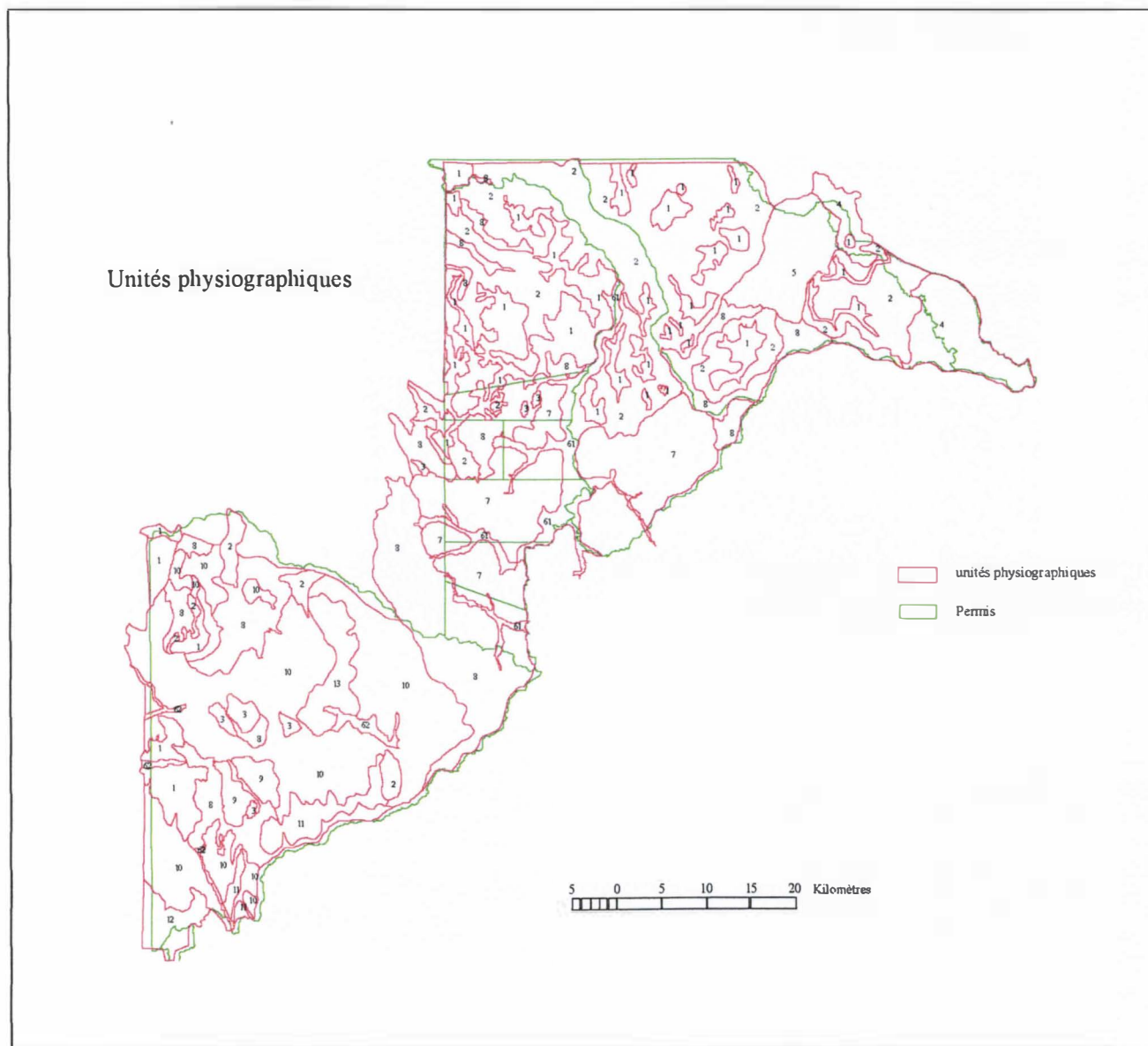


Figure 2



Légende des unités physiographiques

Géologie	paysages	N°	Modelé	altitudes
Précambrien Moyen (Francevillien) Grès fins et pélites	Plateaux et crêtes	1	Surfaces convexes Buttes témoin au sein du système précambrien	300 à 700 m (+ de 800 au Mont Mimongo)
	versants	2	Versants rectilignes incisés en arêtes de poisson	200-400 m
	Buttes témoins	3	Buttes isolées au sein du système granitique	
	Glacis de piedmont sur grès et pélites	4 ₁	Glacis étroit sans organisation visible du modelé ni de l'hydrographie	300-400 m
	Glacis étendu	4 ₂	Glacis étendu sans modelé ni hydrographie discernables	200-300 m
Socle granitique (système de l'Ogooué) granites et pegmatites	boutonniers	5	Affleurement du socle dans le Francevillien ; larges collines de hauteur moyenne	300-400 m
	Plaines et grands bas-fonds	6 ₁	Plaines de l'Ogooué et de la Lolo avec larges bas-fonds rattachés	< 300 m
	Bas-fond perchés	6 ₂	Bas-fonds fermés rattachés au réseau principal par des exutoires étroits	400-500 m sur face haute du socle
	½ oranges homogènes	7	Modelé en ½ oranges de forme, dimensions et hauteur homogènes	200-350 m surface basse du socle
	Glacis de piedmont	8	Glacis de raccordement entre 7 et 1-2 ; pas de modelé ni de réseau de drainage nets	250-450 m
	Collines basses	9	Collines basses organisées autour d'un réseau de drainage peu incisé	400-500 m surface haute du socle
	Collines hétérogènes	10	Collines de hauteur, forme, dimensions variables. Pentes souvent fortes. Hétérogénéité liée à l'hétérogénéité géologique des pegmatites (fractures, filons, lentilles)	400-500 m surface haute du socle
	Reliefs	11	Petits massifs (sur pegmatites ?) à pentes fortes	500-600 m
	plateau	12	Larges ondulations	600-700 m
	Massifs granitiques	13	Larges collines de hauteur moyenne	400-600 m surface haute du socle

Figure 3

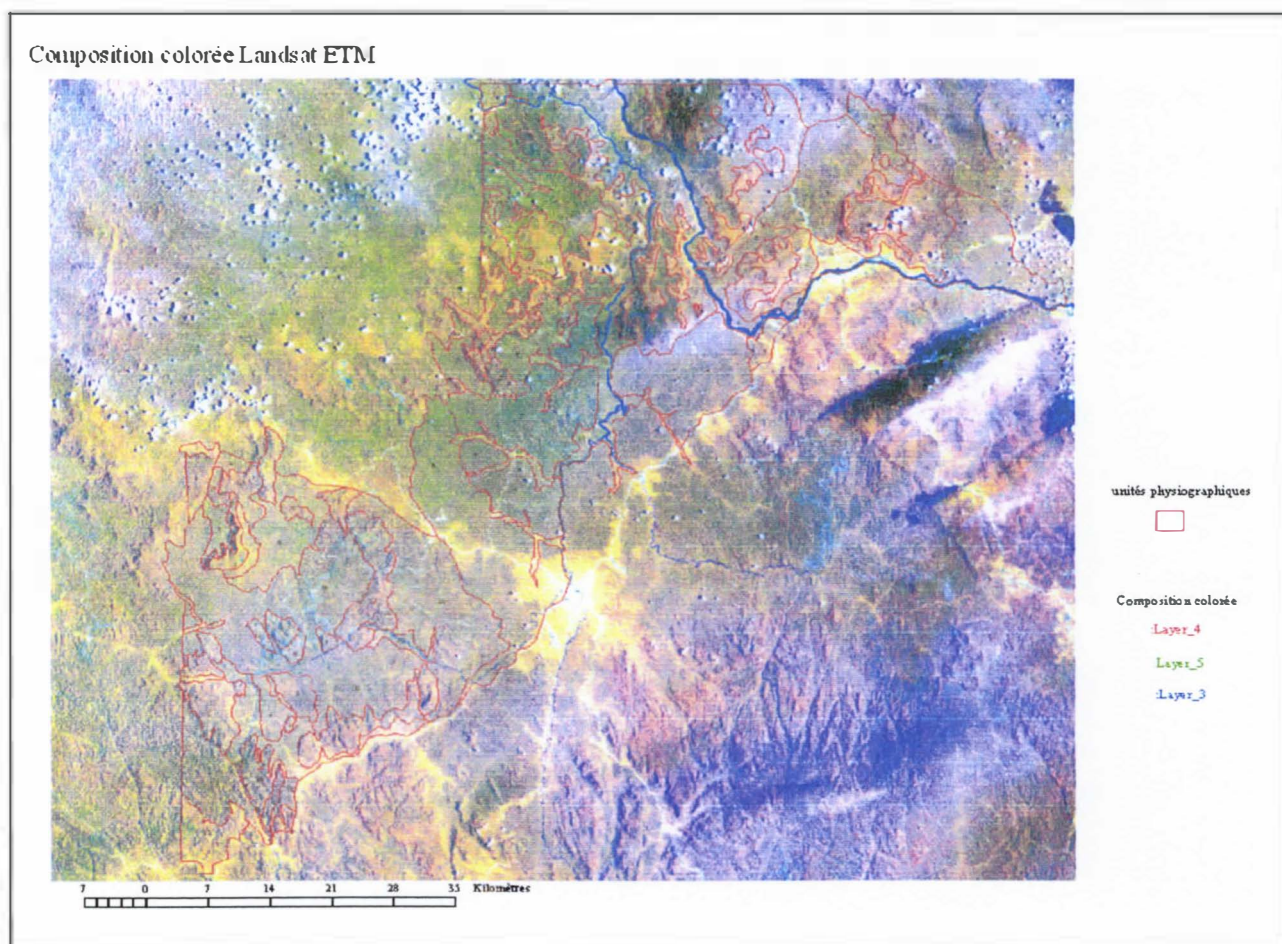


Figure 4

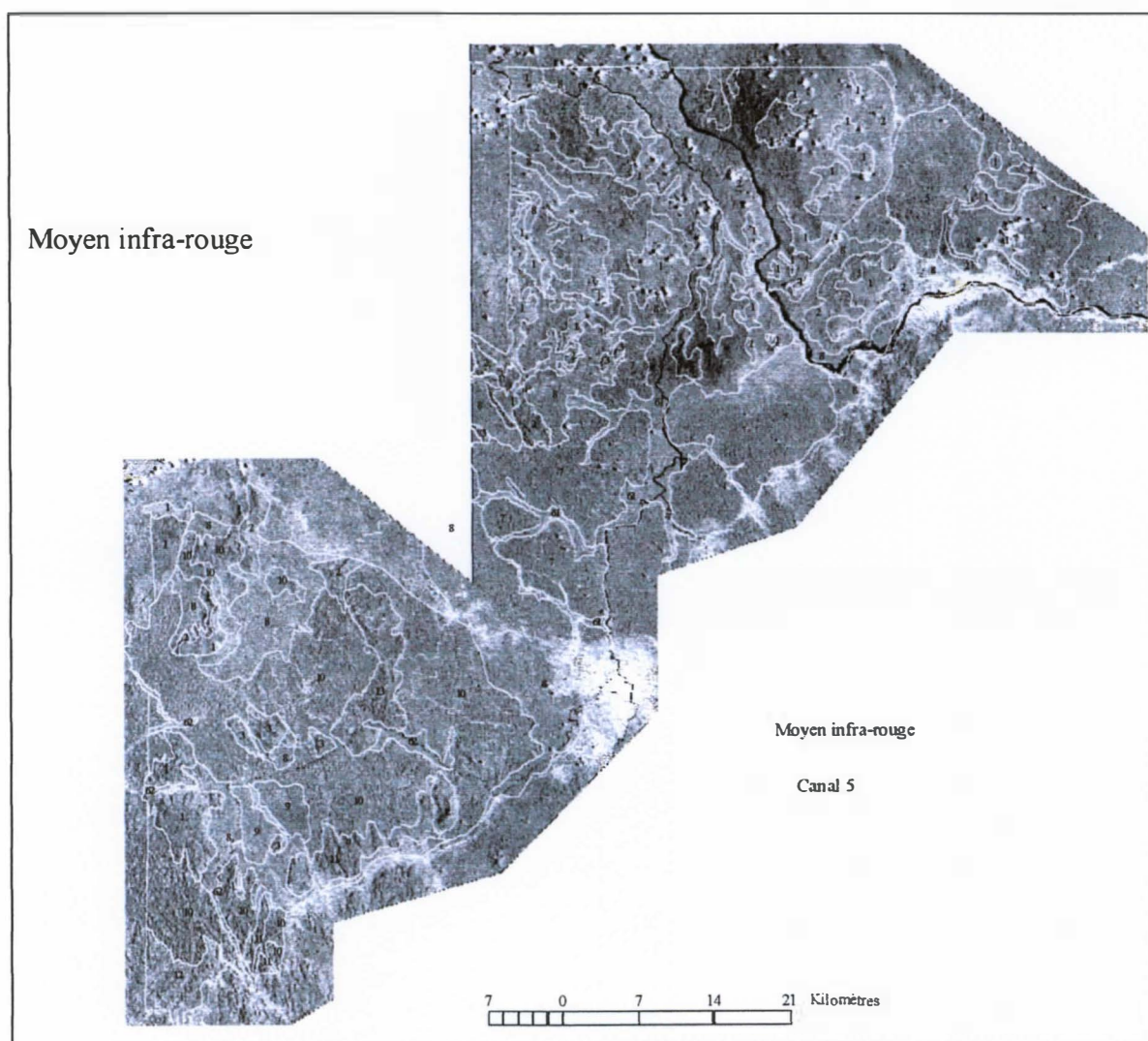


Figure 5

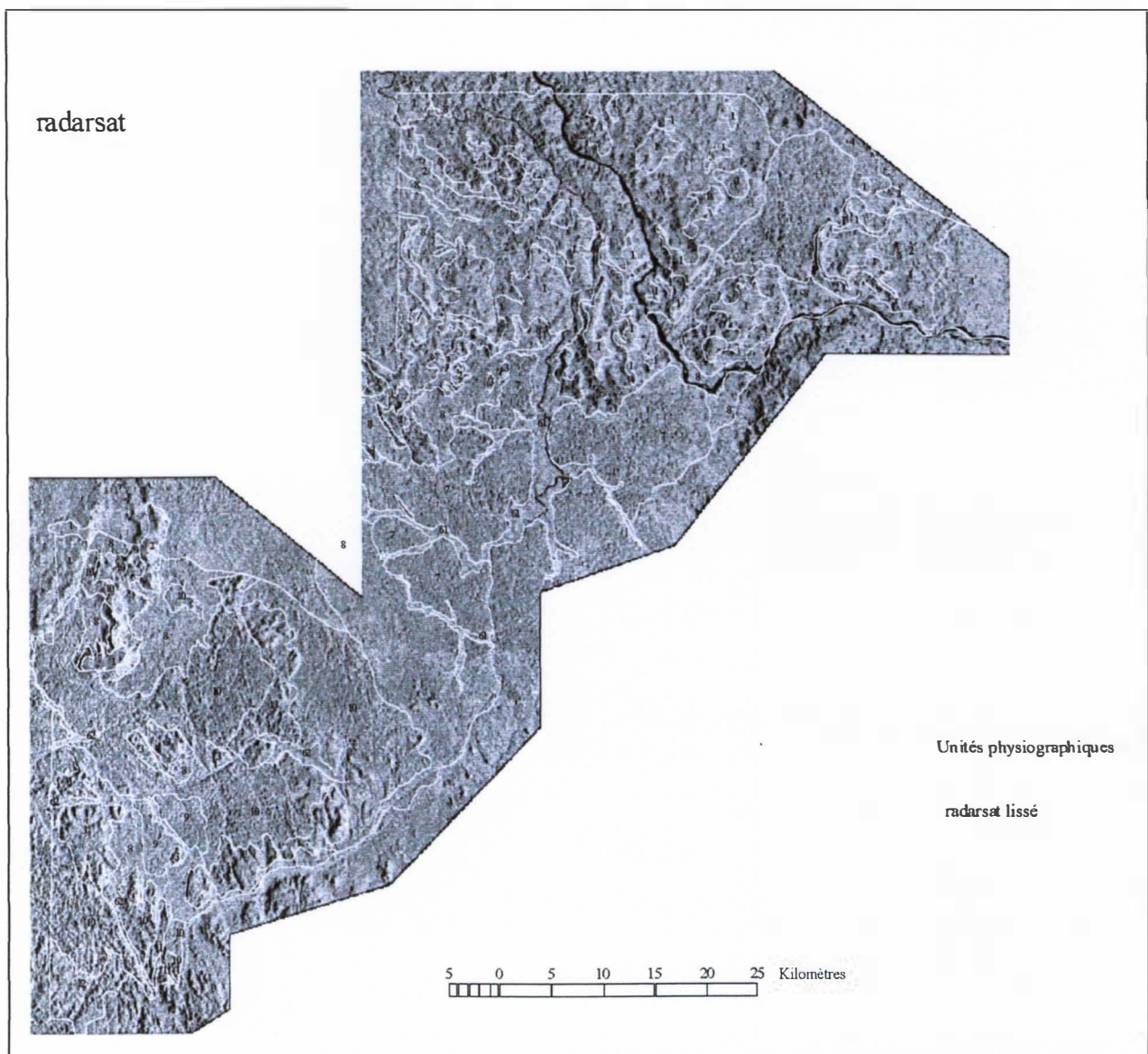


Figure 6

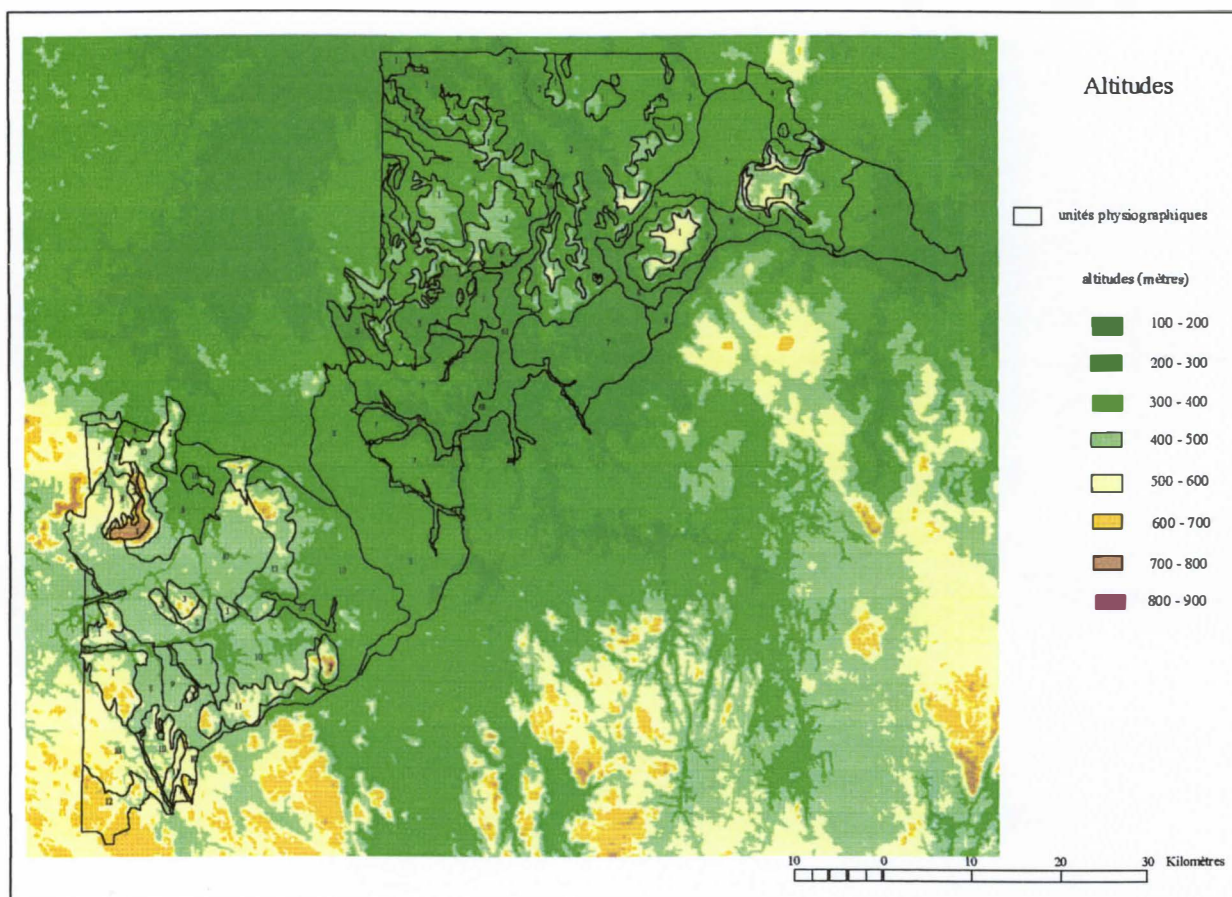


Figure 7

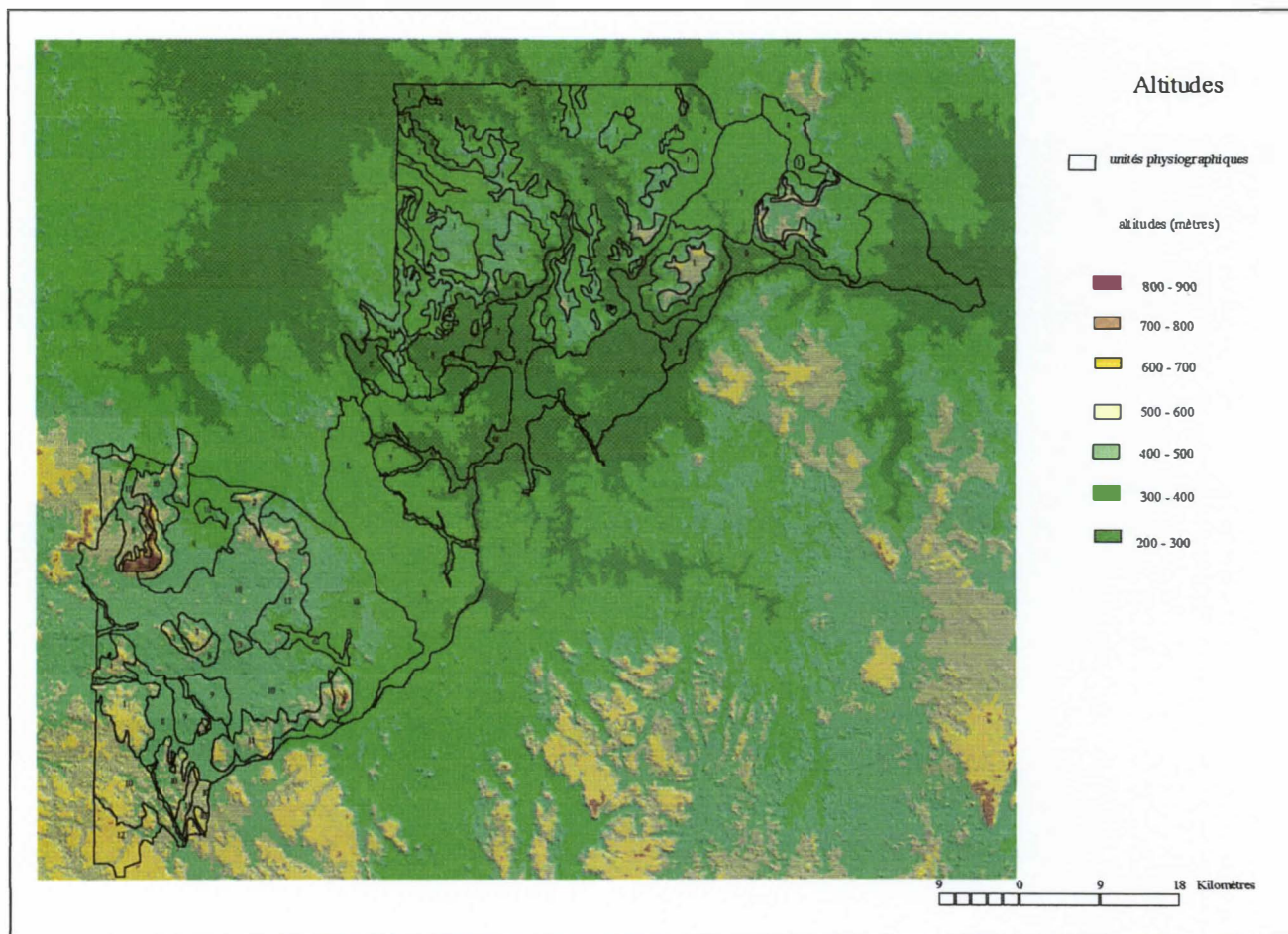


Figure 8

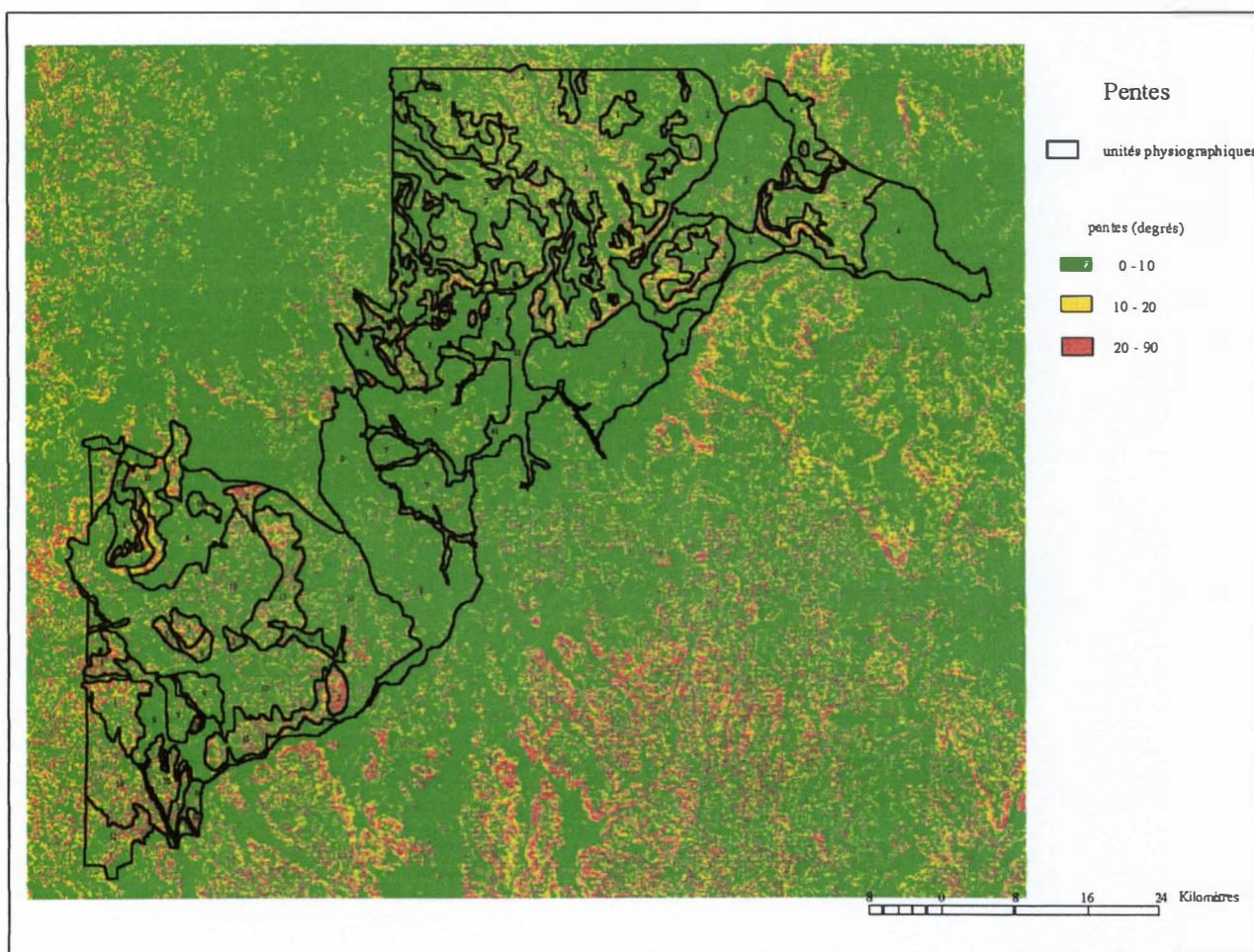
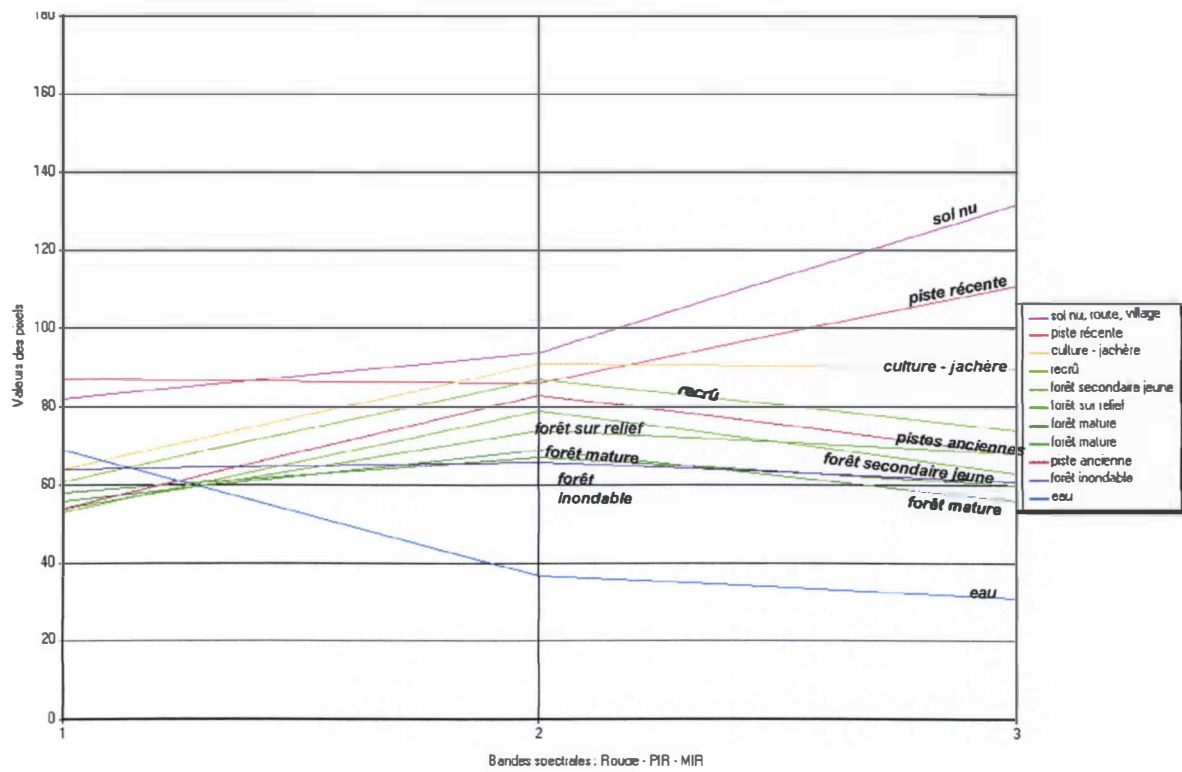
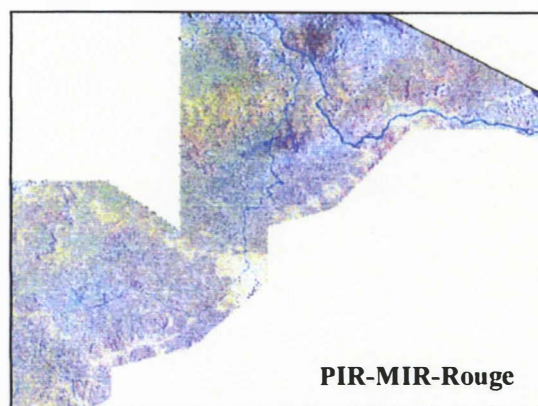
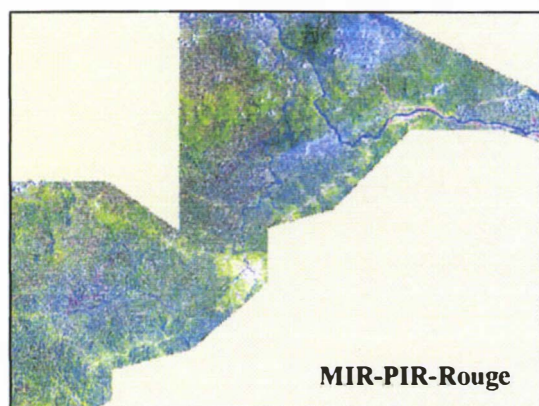


Figure 9

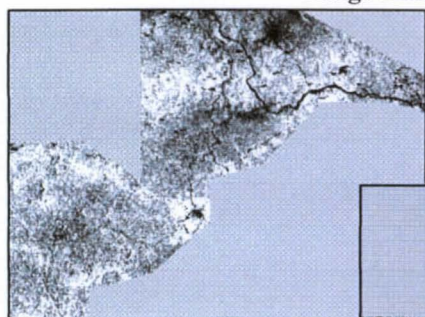
Signatures spectrales théoriques de quelques thèmes



Compositions colorées RVB

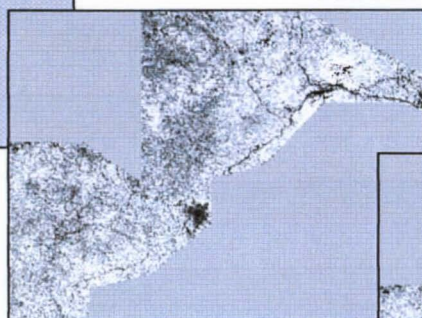


Rouge-PIR

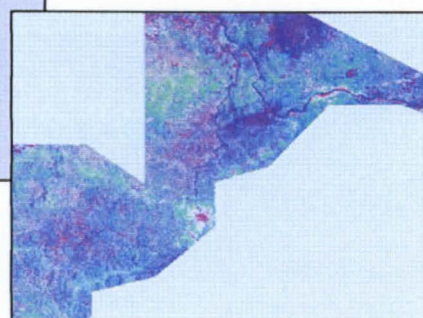
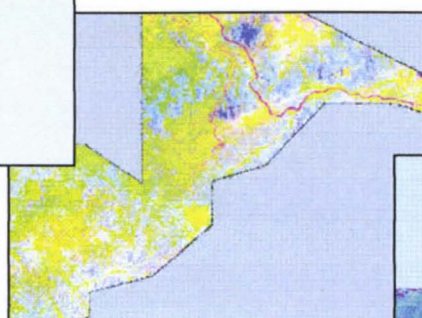
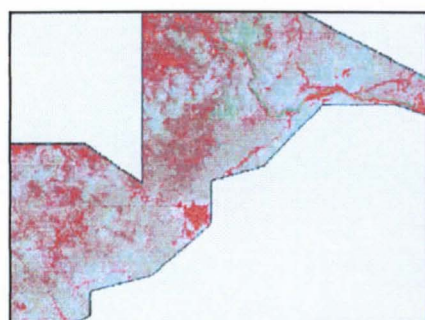
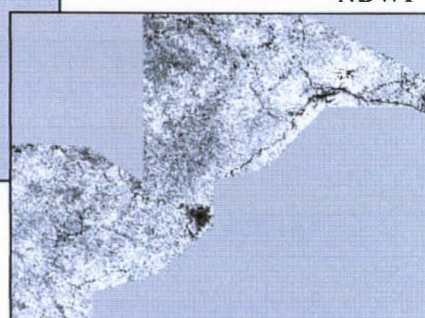


Indices de végétation

PIR-MIR



NDWI



Compositions colorées avec néo-canaux

Indices et composantes principales